مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

صفحه‌های ۲۷۹-۲۶۳

مدل‌سازی یکپارچهٔ سیستم‌های منابع آب، کشاورزی و اقتصادی- اجتماعی دشت هشتگرد با رویکرد دینامیکی سیستم‌ها

آیدا مهرآذر [۱]*، علیرضا مساح بوانی [۲]، محمود مشعل [۲] و حدیثه رحیمی‌خوب [۳]

۱. کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران

۳. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۸

چکیده

بحران آب ناشی از رشد جمعیت و توسعهٔ اقتصادی مهم‌ترین تهدید برای جوامع انسانی است. در دشت هشتگرد به‌دلیل توسعهٔ فعالیت‌های اقتصادی- اجتماعی، مسئلهٔ گسترش جمعیت، افزایش تقاضای آب و محدودیت منابع آب پیش‌روست. به‌دلیل پیچیدگی مسائل مربوط به سیستم‌های منابع آب و دیگر سیستم‌های در تعامل با آن، برای مدیریت، برنامه‌ریزی، ارزیابی سیاست‌های مدیریت آب و شبیه‌سازی سیستم جامع منابع آب دشت هشتگرد، مدل دینامیکی سیستم‌ها بر اساس نمودارهای حلقه‌های علت و معلولی در محیط نرم‌افزار Vensim PLE توسعه داده شد. این مدل، روابط بازخوردی بین زیرسیستم‌های هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی- اجتماعی دشت هشتگرد را برقرار می‌کند. برای صحت‌سنجی مدل، داده‌های مشاهداتی ۱۳۸۰-۱۳۸۵ شمسی و دو آزمون تکرار رفتار و شرایط حدی استفاده شد. نتایج صحت‌سنجی مدل برای متغیرهای جمعیت، نیاز آب شرب، نیاز آب صنعت و ارزش افزوده نشان داد مدل به‌منظور بازسازی رفتار پارامترهای مختلف درون سیستم به‌خوبی واسنجی شده و نشان‌دهندهٔ توانایی مدل در شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب دشت هشتگرد تحت سیاست‌های مختلف در دوره‌های آتی است. بنابراین، این مدل را می‌توان ابزار پشتیبان تصمیم در ارزیابی آثار تصمیم‌ها و اقدام‌های مختلف بر سیستم‌های منابع آب، کشاورزی و اقتصادی- اجتماعی دشت هشتگرد در مدیریت بحران آب موجود در منطقه به‌کار برد.

کلیدواژه‌ها: پویایی سیستم، حلقه‌های علت و معلولی، روابط بازخوردی، صحت‌سنجی، نرم‌افزار Vensim PLE.

*نویسنده مسئول

Email: aida.mehrazar@ut.ac.ir

www.SID.ir

مقدمه

در دهه‌های آینده آب مهم‌ترین منبع راهبردی جوامع بشری و توسعهٔ پایدار به‌خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیا شناخته خواهد شد (۱۶). بحران آب ناشی از رشد جمعیت و توسعهٔ اقتصادی مهم‌ترین تهدید برای جوامع انسانی و محدودیتی برای توسعهٔ پایدار شناخته شده است (۱۷). سیستم‌های منابع آب شامل تعامل بین عوامل مختلف است و عدم قطعیت در روابط خطی و غیرخطی میان این عوامل، بررسی و ارزیابی مسائل و مشکلات مربوط به منابع آب را پیچیده‌تر می‌کند (۵).

به‌دلیل پیچیدگی مسائل مربوط به سیستم‌های منابع آب و دیگر سیستم‌های در تعامل و وابستگی با آن، به نگرشی جامع، سیستمی و آینده نگر نیاز است، به‌طوری که تمام جنبه‌های اثرگذار و بازخوردهای اجزا بر یکدیگر را به‌خوبی شبیه‌سازی کند و در پایش وضعیت حال و آینده در استخراج راهبردها و گزینه‌های مدیریتی مؤثر واقع شود. یکی از ابزارهای مفید در نگرش به‌هم پیوسته در شبیه‌سازی‌ها و پیش‌بینی‌ها، تکنیک مبتنی بر نگرش دینامیکی سیستم‌هاست که نخستین‌بار فارستر در دههٔ ۶۰ میلادی بیان کرد. برخلاف مدل‌های ریاضی، متدولوژی دینامیکی سیستم‌ها قابلیت استفاده در تحقیقات ماکروسکوپی پویا و بلندمدت را دارد و روابط بین مسائل اقتصادی- اجتماعی، محیط‌زیستی، منابع آب، کنترل سیل و کاهش خطرات سوانح طبیعی را به‌خوبی بیان می‌کند (۵). در این راستا، محققان زیادی در ارزیابی و تحلیل سیستم‌های پیچیده مانند منابع آب، از رویکرد به‌هم پیوستهٔ دینامیکی سیستم‌ها استفاده می‌کنند.

برای مثال، سیستم منابع آب دشت مشهد در تحلیل راهبردهای توسعهٔ پایدار، با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها مدل‌سازی شد. با شناخت از سیستم، شاخص‌هایی مبتنی بر ایدهٔ حلقه‌های کارایی با عناوین تنش منبع، بهره‌وری اقتصادی منبع و نیاز آبی دشت معرفی شد. سپس، متناسب با راهبردهای سه‌گانه (رشد اقتصادی با رویکرد محدودیت منابع، تخصیص منابع آب با رویکرد ارزش افزوده و تغییر الگوی کشت) بسته‌های سیاستی تدوین و تأثیر آن بر شاخص‌های مذکور بررسی شد. بر اساس نتایج حاصل مشاهده شد که تغییر الگوی کشت به کشت گندم سیاستی برتر و گامی مؤثر در جهت بهبود وضعیت منابع آب دشت مشهد تلقی می‌شود (۱). طرح‌های توسعهٔ منابع آب در سیستم چند مخزنهٔ زیرحوضهٔ دره‌رود با استفاده از شاخص‌های عملکردی ارزیابی شد. از روش پویایی سیستم در شبیه‌سازی سیستم منابع آب زیرحوضهٔ دره‌رود از حوضهٔ آبریز رودخانهٔ ارس استفاده شد. نتایج مقایسهٔ شاخص‌ها نشان داد که برآوردگرهای مبتنی بر میانگین، به‌دلیل درنظرگرفتن وضعیت سیستم در شرایط مختلف، حاوی اطلاعات مفیدتری است (۳).

در تحقیقی دیگر، مدیریت حوضهٔ رودخانهٔ زاینده‌رود در ایران با استفاده از رویکرد دینامیکی سیستم‌ها بررسی شد. نتایج مدل برای حالات مختلف نشان داد که گزینه‌های متفاوت مدیریتی تقاضا و کنترل جمعیت، زمانی که با انتقال آب بین حوضه‌ای، افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی آب و کنترل خروج آب زیرزمینی ترکیب شود، در پرداختن به بحران آب مؤثرتر است (۱۳).

کارایی مدل دینامیکی سیستم‌ها نیز در تخصیص آب به مزارع واقع در حوضهٔ رودخانهٔ زردچین بررسی شد. در این مطالعه، با ترسیم حلقه‌های علت و معلولی و نمودارهای جریان در محیط Vensim به شبیه‌سازی رطوبت خاک در مزارع برنج در شمال چین پرداخته شد. مقایسهٔ روزانهٔ تنش آبی خاک محاسبه‌شده و مشاهداتی نشانگر قابلیت بالای این روش در شبیه‌سازی رطوبت خاک و در نتیجه تخصیص آب به مزارع بوده است.

Archive of SID
www.SID.ir

بنابراین، تعامل بین اجزای مختلف چرخهٔ آب، شامل پیچیدگی و روابط غیرخطی بین متغیرهاست که با استفاده از حلقه‌های بازخوردی و رویکرد سیستمی بیان می‌شود (۱۲).

در ارزیابی سیاست‌های مدیریت آب در جنوب فلوریدا نیز از ابزار پویایی سیستم‌ها استفاده شده است. این مدل ارتباطات درونی بین دسترسی به آب و رقابت در افزایش تقاضای آب در بخش‌های مصرفی شهری، کشاورزی و محیط‌زیستی را بیان کرده است (۴). مدل اقلیمی- اجتماعی- محیط‌زیستی ANEMI در مقیاس جهانی با رویکرد دینامیکی سیستم‌ها توسعه یافت و تأکید شد که ارزیابی یکپارچه در این مقیاس باعث افزایش درک علمی و بهبود سیاستگذاری اجتماعی- اقتصادی می‌شود. این مدل از نه بخش اصلی تشکیل شده است که خصوصیات اصلی بخش‌های اقلیمی، سیکل کربن، اقتصاد، کاربری اراضی، جمعیت، چرخهٔ هیدرولوژی، نیاز آبی، کیفیت آب و کشاورزی را در مقیاسی جهانی در نظر گرفته است. یکی از مشکلات مدل‌های جهانی ناتوانایی در وارد کردن جزئیات است. با توسعهٔ مدل‌ها در سطح منطقه یا حوضه می‌توان خصوصیات خاص آن حوضه را وارد معادلات کرد (۷).

مدلسازی سیستم آب شهری تبریز با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها انجام شد. مدل سیستم دینامیکی تبریز، منابع بالقوهٔ عرضهٔ آب، منابع بالقوهٔ تقاضای آب و ابزارهای مدیریتی را در نظر می‌گیرد. قیمت مصارف خانگی نیز قابل‌تغییر است. بنابراین، می‌توان اثر آن را با استفاده از این مدل روی کمبود آب تعیین کرد. همچنین، مدل تأثیر گسترش شبکهٔ فاضلاب را بر منابع آب زیرزمینی بررسی می‌کند. با توجه به نتایج این مطالعه، هر دو راه‌حل مدیریتی انتقال آب و ابزارهای مدیریتی تقاضا، کمبود آب در سال ۲۰۲۰ را بیش از ۴۵ درصد کاهش می‌دهد ولی انتقال آب مؤثرتر است. مدل ابزار مناسبی برای مدیران و تصمیم‌گیران تبریز در اجرای برنامه‌های مدیریتی عمل خواهد کرد (۲۰).

به‌منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر سیستم منابع آب زاینده‌رود و شناسایی اثر راهکارهای سازگاری برای به حداقل رساندن آثار تغییر اقلیم، مدلی جامع بر مبنای رویکرد دینامیکی سیستم‌ها به‌نام مدل مدیریت و پایداری حوضهٔ آبریز زاینده‌رود (ZRW-MSM) توسعه داده شد. مدل ZRW-MSM بین زیرسیستم‌های هیدرولوژیکی، اجتماعی- اقتصادی و کشاورزی حوضه روابط بازخوردی برقرار می‌کند. این مدل در مورد روند رفتار هر یک از زیرسیستم‌های حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم دیدگاهی ارائه می‌کند. نتایج نشان داد اگر سیاست‌های مدیریتی آب فعلی در آینده نیز اجرا شود، باتلاق گاوخونی که زیست‌بومی مهم است، به‌دلیل عدم جریان‌های محیط‌زیستی به‌شدت تنزل خواهد یافت که با تغییر اقلیم تشدید خواهد شد. همچنین، نتایج نشان داد که راهکارهای عرضه‌محور (انتقال آب) به‌تنهایی در کاهش آثار تغییر اقلیم در بخش‌های مختلف مؤثر نیست و در درازمدت باعث آسیب‌پذیری بیشتر سیستم منابع آب به روند گرم و خشک شدن اقلیم حوضهٔ زاینده‌رود خواهد شد. بهبود راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی، تغییر در الگوی کشت رایج در حوضه در صورتی که با سیاست افزایش عرضهٔ آب همراه شود موجب کاهش نیاز آب حوضهٔ آبریز و افزایش عرضهٔ آب در مقایسه با دورهٔ پایه خواهد شد. بنابراین، هنگامی که مدیریت عرضه و تقاضای آب با هم همراه می‌شود، این اقدام‌ها تنش آبی حوزهٔ انسانی مربوط به تغییر اقلیم در حوضه را کاهش می‌دهد (۱۰).

در منطقهٔ لتونی، راه‌حل‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با سیاست‌های تصمیم‌گیری کشاورزی، بررسی شده است. بدین منظور ابزار پیشرفته‌ای همچون مدل دینامیکی سیستم‌ها توسعه داده شد که توانایی ارزیابی آثار تصمیم‌گیری‌ها و اقدام‌های مختلف روی انتشار گازهای

Archive of SID
www.SID.ir

گلخانه‌ای را دارد. این مدل بر اساس دستورالعمل IPCC و شامل عناصر اصلی سیستمی کشاورزی مانند مدیریت زمین، دامداری، کوددهی به زمین، تولید محصول، همچنین سازوکار بازخورد بین عناصر است. نتایج نشان داد که گزینه‌های محدودی برای کاهش خطر انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی وجود دارد. بنابراین، سایر بخش‌ها غیر از بخش‌های تجاری‌سازی باید شدت انتشار را برای خنثی‌کردن انتشار بخش کشاورزی و برای رسیدن به آرزوی مشترک اتحادیهٔ اروپا در حرکت به سمت اقتصاد کم‌کربن کاهش دهد (۶).

با وجود این، در بیشتر تحقیقات، بخش کشاورزی، منابع آب سطحی و زیرزمینی و جزآن به‌صورت مجزا بررسی شده و به آثار بازخوردی بین آن‌ها توجه نشده است، در حالی که سیستم منابع آب سطحی و زیرزمینی آثار متقابلی بر سیستم کشاورزی و سایر بخش‌ها دارد و باید رفتار آن‌ها در تعامل با یکدیگر بررسی شود.

محدودهٔ مطالعاتی دشت هشتگرد با مسئلهٔ گسترش جمعیت، افزایش تقاضا و محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی روبه‌روست. دشت هشتگرد واقع در استان البرز، به‌دلیل توسعهٔ صنعت و نزدیکی به شهرهای بزرگ تهران و کرج، مهاجرپذیر است و رشد جمعیت آن بیش از متوسط جمعیت ایران برآورد می‌شود (۱۴). توسعهٔ بخش صنعت و افزایش جمعیت دشت، کاهش حجم آب تخصیصی به بخش کشاورزی را در پی داشته است. از طرف دیگر، این دشت در سال‌های اخیر با افت شدید سطح آب زیرزمینی و در نتیجه خشک‌شدن بیش از پیش چشمه‌ها، قنات‌ها و چاه‌ها روبه‌رو بوده است (۱۹). بدیهی است برای مطالعهٔ آثار تغییر اقلیم بر منابع آب (سطحی و زیرزمینی) دشت هشتگرد باید سایر عوامل تأثیرگذار، از قبیل رشد جمعیت و توسعهٔ بخش صنعت، به‌صورت پویا بررسی شود.

در تحقیقی مشابه با تحقیق حاضر، آثار تغییر اقلیم بر سامانه‌های منابع آب و کشاورزی دشت هشتگرد با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها به ارزیابی یکپارچه شد. هدف از آن مطالعه شبیه‌سازی کمّی و کیفی آثار تغییر اقلیم و رشد جمعیت بر سامانه‌های منابع آب و کشاورزی دشت هشتگرد بوده است. گرچه رویکرد مورد استفاده در تحقیق صورت گرفته استفاده از پویایی سیستم‌ها در مدل‌سازی جامع منطقه بوده است، خلأهایی در مدل‌سازی وجود دارد که در تحقیق حاضر سعی بر برطرف کردن آن‌ها شده است. این خلأها عبارت است از در نظر نگرفتن مواردی در مدل‌سازی پویایی سیستم همچون عملکرد واقعی محصولات کشاورزی، تغییرات قیمت محصولات کشاورزی در سال‌های مختلف، میزان درآمد حاصل از بخش کشاورزی و تأثیر میزان درآمد حاصل از بخش کشاورزی بر ارزش افزودهٔ کشاورزی منطقهٔ مطالعاتی. بدین ترتیب، تأثیر آن بر ارزش افزودهٔ کل، مطلوبیت منطقه، جمعیت و سایر متغیرهای موجود در سیستم جامع منابع آب دشت هشتگرد است که از جامعیت و کارایی مدل مربوط می‌کاهد (۲).

بنابراین، در این تحقیق، به‌منظور بررسی سیستم‌های منابع آب دشت هشتگرد، مدلی جامع بر مبنای رویکرد دینامیکی سیستم‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه توسعه داده شد. مدل توسعه داده شده در محدودهٔ مورد مطالعه، این امکان را فراهم می‌کند تا بازخوردهای انسانی و تغییرات زیست‌بوم را مطالعه کرد. نمودارهای ذخیره و جریان (SFD)[1] این زیرسیستم‌ها بر اساس نمودارهای حلقه‌های علّی و معلولی آن و بر اساس رویکرد دینامیکی سیستم‌ها و متناظر با مدل مفهومی و زیرسیستم‌های شناسایی شده در مرحلهٔ ارزیابی حوضه توسعه یافت. در نهایت، مدل توسعه داده شده با آزمون‌های تکرار رفتار و شرایط حدی صحت‌سنجی شد.

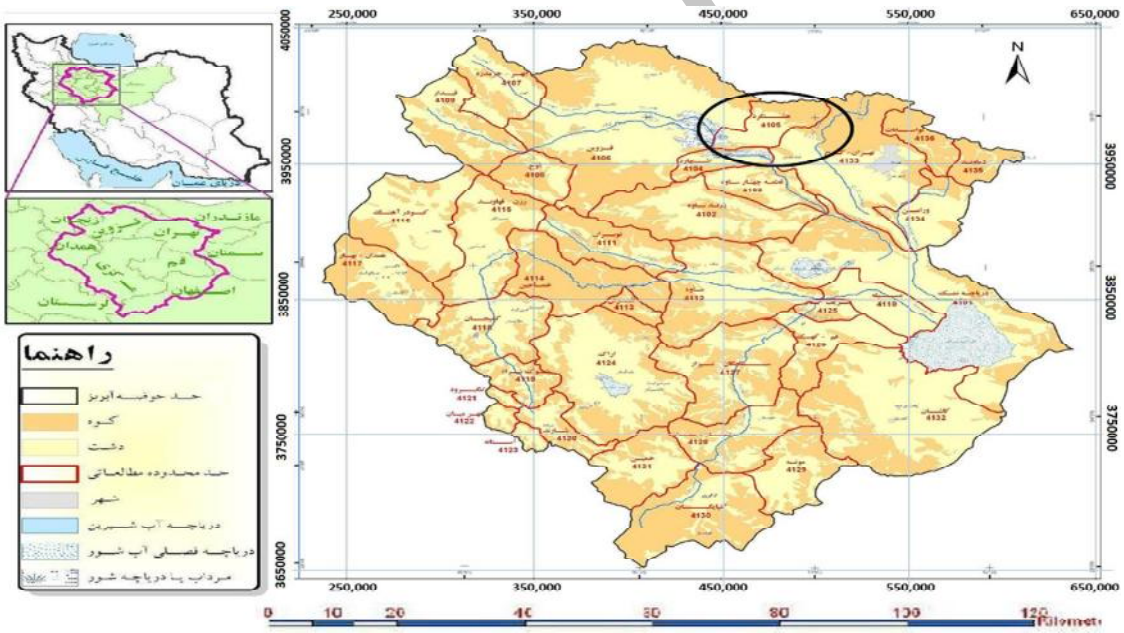
1. Stock Flow Diagram (SFD)

Archive of SID
www.SID.ir

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مطالعاتی هشتگرد با وسعت ۱۲۷۱ کیلومترمربع یکی از زیرحوضه‌های اصلی حوضهٔ آبریز دریاچهٔ نمک در کشور ایران است و در شمال این حوضهٔ آبریز قراردارد. حوضهٔ هشتگرد از شمال به حوضهٔ آبریز درجهٔ دو سفیدرود بزرگ، از جنوب به محدودهٔ اشتهارد، از غرب به محدودهٔ قزوین و از شرق به محدودهٔ تهران-کرج محدود شده است. این حوضه بین طول‌های جغرافیایی ´۲۲ °۵۰ تا ´۰۵ °۵۱ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ´۷ °۳۵ تا ´۱ °۳۶ شمالی گسترده شده است. بارندگی سالیانه در این منطقه ۳۴۱ میلی‌متر و متوسط دمای محدودهٔ مطالعاتی ۱۳ درجهٔ سلسیوس است. موقعیت کلی محدودهٔ مطالعاتی هشتگرد در شکل ۱ نشان داده شده است. داده‌های هواشناسی مورد نیاز در این پژوهش شامل دمای میانگین و بارش در سال‌های ۱۳۸۰- ۱۳۸۵، از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیکی قزوین به‌دست آمده است که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقهٔ مطالعاتی است. ایستگاه سینوپتیکی قزوین در طول جغرافیایی ´۰۵ °۵۰ و در عرض جغرافیای ´۲۵ °۳۶ واقع شده است. محصولات غالب کشاورزی دشت هشتگرد شامل گندم، جو، ذرت و یونجه است. سایر آمار و اطلاعاتی که در این تحقیق استفاده شده است مربوط به محدودهٔ مطالعاتی هشتگرد و سال‌های ۱۳۸۰- ۱۳۸۵ است.



شکل ۱. موقعیت کلی محدودهٔ مطالعاتی هشتگرد

مصارف آب دشت هشتگرد در بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی از منابع آب سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شود. بیشتر آب سطحی منطقهٔ مورد مطالعه از رودخانهٔ کردان است. آب تأمین‌شده از سفره‌های آب زیرزمینی اغلب با چاه برداشت می‌شود. در سال‌های اخیر در اثر رشد جمعیت و توسعهٔ بخش صنعت، مصارف شرب و صنعت در محدودهٔ مطالعاتی هشتگرد افزایش یافته است. این افزایش به‌دلیل اولویت تأمین آب مورد نیاز بخش

www.SID.ir

شرب و صنعت، کاهش حجم آب تخصیصی به بخش کشاورزی را در پی داشته است. از طرفی، بخش کشاورزی در تأمین مواد غذایی جمعیت رو به رشد ناگزیر از مصارف بیشتر آب و بالتبع فشار بیشتر به سفره‌های آب زیرزمینی بوده است که نتیجهٔ آن پایین افتادن سطح آبخوان زیرزمینی، خشک‌شدن بیش از پیش چشمه‌ها، قنوات و چاه‌هاست. مقادیر متغیرهای برون‌زا و ضرایب ثابت در نظر گرفته شده در مدل، در جدول ۱ آمده است (۱۹).

جدول ۱. مقادیر ثابت مدل

متغیر برون‌زا یا ضریب	معادل فارسی	مقدار
National economic growth rate	نرخ رشد اقتصادی ملی	۰/۰۴
Deep percolation coefficient	ضریب نفوذ عمقی	۰/۱۲
Surface water returned flow coefficient	ضریب آب برگشتی به منابع آب سطحی	۰/۰۱۵
Groundwater returned flow coefficient	ضریب آب برگشتی به منابع آب زیرزمینی	۰/۹۸۵
Natural groundwater inflow (MCM)	جریان ورودی زیرزمینی	۵۷/۷۶
Groundwater outflow (MCM)	جریان خروجی زیرزمینی	۸/۰۰۱
Evaporation from Groundwater (MCM)	تبخیر از سفرهٔ آب زیرزمینی	۰/۳۳۴
Domestic returned flow coefficient	ضریب آب برگشتی شرب	۰/۷۸
Industrial returned flow coefficient	ضریب آب برگشتی صنعت	۰/۶۵
Agricultural returned flow coefficient	ضریب آب برگشتی کشاورزی	۰/۳۵
Cultivated area of Gardens (ha)	سطح زیرکشت محصولات باغی	۷۹۵۸
Cultivated area of Alfalfa (ha)	سطح زیرکشت یونجه	۶۵۱
Cultivated area of Maize (ha)	سطح زیرکشت ذرت	۱۸۸۴
Cultivated area of Wheat (ha)	سطح زیرکشت گندم	۷۱۰۱
Cultivated area of Barley (ha)	سطح زیرکشت جو	۳۶۸۴
Irrigation efficiency	راندمان آبیاری	۰/۴۵

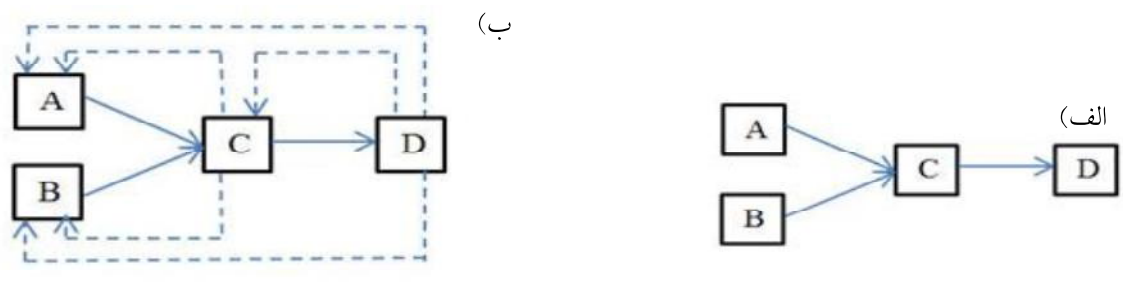
تفکر سیستمی و رویکرد دینامیکی سیستم‌ها[1]

رویکرد دینامیکی سیستم‌ها ابزاری مدیریتی در تصمیم‌گیری در مورد سیستم‌های پویاست که با استفاده از مدل‌سازی ریاضی، امکان شبیه‌سازی، فهم و درک سیستم‌های پیچیده را فراهم می‌کند. این روش را نخستین‌بار فارستر مطرح کرد (۹). رویکرد پویایی سیستم‌ها جنبه‌ای از تفکر سیستمی در مدیریت و برنامه‌ریزی سیستم‌هاست که به درک چگونگی و چرایی ایجاد دینامیک‌ها کمک می‌کند و پس از حصول این درک، یافتن گزینه‌هایی را برای بهبود عملکرد سیستم آسان‌تر می‌کند (۱۸). تفکر سیستمی که اساس و مبنای رویکرد دینامیکی سیستم‌هاست در مقابل تفکر خطی قراردارد. در تفکر خطی فرض می‌شود اتفاقات و روند در سیستم در طول زمان ثابت عمل می‌کند (۱۱). مدلی که این تفکر از

1. system dynamics approach

www.SID.ir

آن پیروی می‌کند و در اصطلاح تحت مدل باز نامیده می‌شود در شکل ۲الف آمده است. در مدل‌های باز هیچ‌گونه بازخوردی از خروجی به ورودی در نظر گرفته نمی‌شود، اما رویکرد دینامیکی سیستم‌ها بر پایهٔ نظریهٔ فرایندهای بازخوردی استوار است که سیستم‌ها را به‌صورت بسته در نظر می‌گیرد. در این مدل (شکل ۲ب) بازخورد خروجی سیستم روی ورودی‌ها و سایر عناصر سیستم در نظر گرفته می‌شود (۱۱).



شکل ۲. (الف) مدل باز در تفکر خطی و (ب) مدل بسته در تفکر سیستمی

بنابراین، روش دینامیکی سیستم‌ها با در نظر گرفتن روابط بازخوردی چارچوبی منحصر به فردی را برای درک بهتر فرایندهای مؤثر بین زیرسیستم‌های مختلف ایجاد می‌کند. این توانایی منحصر به فرد مهم‌ترین دلیل در گسترش کاربرد رویکرد دینامیکی سیستم‌ها در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در قرن گذشته به شمار می‌رود.

مدل‌سازی جامع سیستم منابع آب دشت هشتگرد با رویکرد دینامیکی سیستم‌ها

مدل مورد استفاده در این تحقیق با رویکرد یکپارچه‌سازی بر مبنای نظریهٔ دینامیکی سیستم‌ها و با سه زیرسیستم هیدرولوژیکی، اقتصادی- اجتماعی و کشاورزی توسعه یافته است. هر زیرسیستم شامل شاخه‌هایی متفاوت از توسعهٔ سیستم منابع آب دشت هشتگرد است. در این تحقیق برای مدل‌سازی از نرم‌افزار Vensim PLE استفاده شد که Ventana Systems در دانشگاه هاروارد ماساچوست در سال ۱۹۸۵ ایجاد کرده است. Vensim از یک‌سری ابزارهای تحلیل برخوردار است که آن را نسبت به سایر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی منحصر به فرد می‌کند. قابلیت ترسیمی علّی این نرم‌افزار باعث می‌شود تا بتوان خیلی سریع رفتار یک متغیر و متغیرهای وابسته به آن را ملاحظه کرد. این نرم‌افزار با حل تکراری معادلات دیفرانسیل موجود در سیستم به روش تفاضل‌های محدود رفتار سیستم را در دورهٔ شبیه‌سازی نشان می‌دهد، به‌طوری که بعد از اجرای مدل رفتار تک‌تک متغیرهای موجود طی نمودارها و جداولی قابل‌ملاحظه خواهد بود. در هر زیرسیستم نخست، نمودار علّی و معلولی یا حلقه‌های علیت (CLD)[1] رسم می‌شود. حلقه‌های علیت یکی از ابزارهای مهم برای نشان دادن ساختار بازخورد در سیستم‌هاست. CLD شامل متغیرهایی است که با کمان به هم مرتبط شده است و تأثیرات علّی بین متغیرها را نشان می‌دهد. به هر پیوند علت و معلولی یک قطبیت (+) یا منفی (-) تخصیص می‌یابد تا چگونگی تغییر متغیرها را نسبت به هم نشان دهد. سپس، نمودارهای ذخیره و

1. Casual Loop Diagrams (CLD)

Archive of SID
www.SID.ir

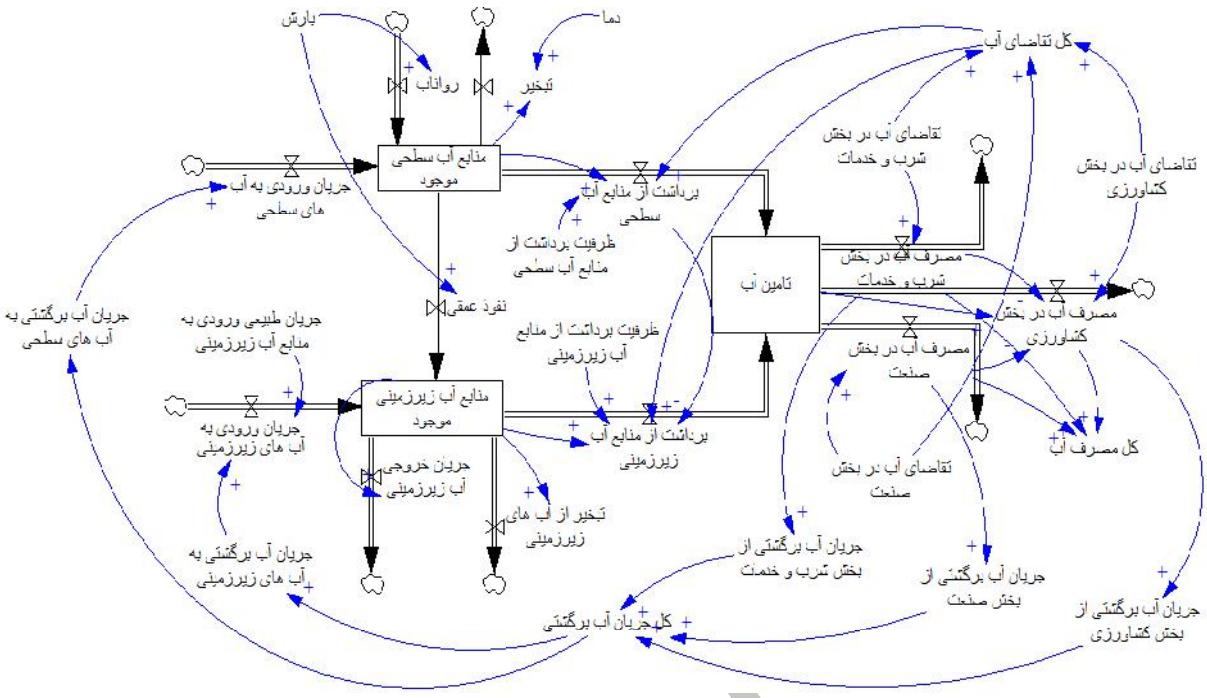
جریان، از نمودارهای علت و معلولی اقتباس می‌شود و در آن روابط به‌صورت ریاضی تعریف می‌شود. در واقع، روابط کیفی تعیین‌شده در CLD را به‌وسیله نمودارهای ذخیره و جریان و با کمک معادلات ریاضی به مقادیر کمّی تبدیل می‌کنیم. اجرای مدل شبیه‌سازی فقط روی نمودار ذخیره و جریان میسر است.

زیرسیستم هیدرولوژیکی

زیرسیستم هیدرولوژیکی شامل روابط بازخوردی بین متغیرهای اقلیمی و منابع آب است. این زیرسیستم بر اساس معادلهٔ بیلان آب منابع سطحی و زیرزمینی یا به‌عبارتی با در نظر گرفتن تمامی ورودی‌ها و خروجی‌ها در سطح حوضهٔ مطالعاتی هشتگرد ساخته شده است. در شکل ۳ نمودارهای ذخیره و جریان زیرسیستم هیدرولوژیکی رسم شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی از قبیل دما، بارش، تبخیر، رواناب، جریان‌های طبیعی، همچنین تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی از طریق آب‌های برگشتی، کنترل‌کنندهٔ تعادل آب در حوضهٔ مطالعاتی است. در نمودار حلقهٔ علّی و معلولی، روابط متقابل و بازخورد بین اجزا با پیکان‌های علامتدار نشان داده شده که به‌صورت روابط علّی و معلولی مثبت یا منفی علامت‌گذاری شده است، به‌طوری که علامت مثبت نشان‌دهندهٔ بازخورد مثبت (هم‌جهت) و علامت منفی بیانگر بازخورد منفی (خلاف جهت) است. به‌منظور تطابق با وضعیت حاکم در منطقهٔ مطالعاتی، اولویت تخصیص آب به‌ترتیب به بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی داده شده است. آب مورد نیاز کل محدوده، نخست از منابع آب سطحی برداشت شده است و در صورت کمبود منابع آب سطحی، از منابع آب زیرزمینی برداشت می‌شود. در صورتی که حجم منابع آب زیرزمینی حوضه بیش از ظرفیت برداشت از منبع باشد، حداکثر مقدار قابل‌استفاده در حوضه برابر با ظرفیت برداشت است و در صورت مواجهه با کمبود منابع آب زیرزمینی، به میزان آبی که وجود دارد تخصیص صورت می‌گیرد. جریان آب برگشتی در حقیقت بخشی از آب مصرف‌نشده از بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و خدمات است که به سیستم منابع آب در قالب تغذیه به دو منبع آب‌های سطحی و زیرزمینی بازخورد داده شده است. میزان نشت از آب‌های زیرزمینی به آب‌های سطحی به‌علت پایین‌بودن سطح آب زیرزمینی و فقدان سفرهٔ معلق آب زیرزمینی در محدودهٔ مطالعاتی در نظر گرفته نشد.

در این زیرسیستم، متغیرهای دما و بارش به‌صورت میانگین سالیانه به‌عنوان ورودی به مدل داده می‌شود. پارامتر نفوذ عمقی به‌صورت تابعی از بارندگی و پارامتر تبخیر از منابع آب سطحی به‌صورت تابعی از دما در نظر گرفته شده است. برای شبیه‌سازی رواناب در منطقهٔ مطالعاتی هشتگرد از روابط رگرسیونی بین بارندگی و رواناب در دوره‌ای بیست‌ساله استفاده شد. تبخیر از منابع آب زیرزمینی، جریان طبیعی ورودی به آب زیرزمینی و جریان خروجی از محدودهٔ بیلان آب زیرزمینی ثابت در نظر گرفته شد. جریان ورودی به آب‌های سطحی تحت تأثیر رواناب و میزان آب برگشتی به منابع آب سطحی است. جریان برگشتی ورودی به آب‌های سطحی از مصارف آب در حوضه، به‌صورت درصدی از کل آب برگشتی محاسبه شده است. جریان ورودی به منابع آب زیرزمینی از مجموع جریان طبیعی ورودی زیرزمینی به محدودهٔ بیلان، و آب برگشتی زیرزمینی محاسبه می‌شود. جریان برگشتی ورودی به آب‌های زیرزمینی از مصارف آب در حوضه، به‌صورت درصدی از کل آب برگشتی محاسبه شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳. نمودار ذخیره و جریان زیرسیستم هیدرولوژیکی

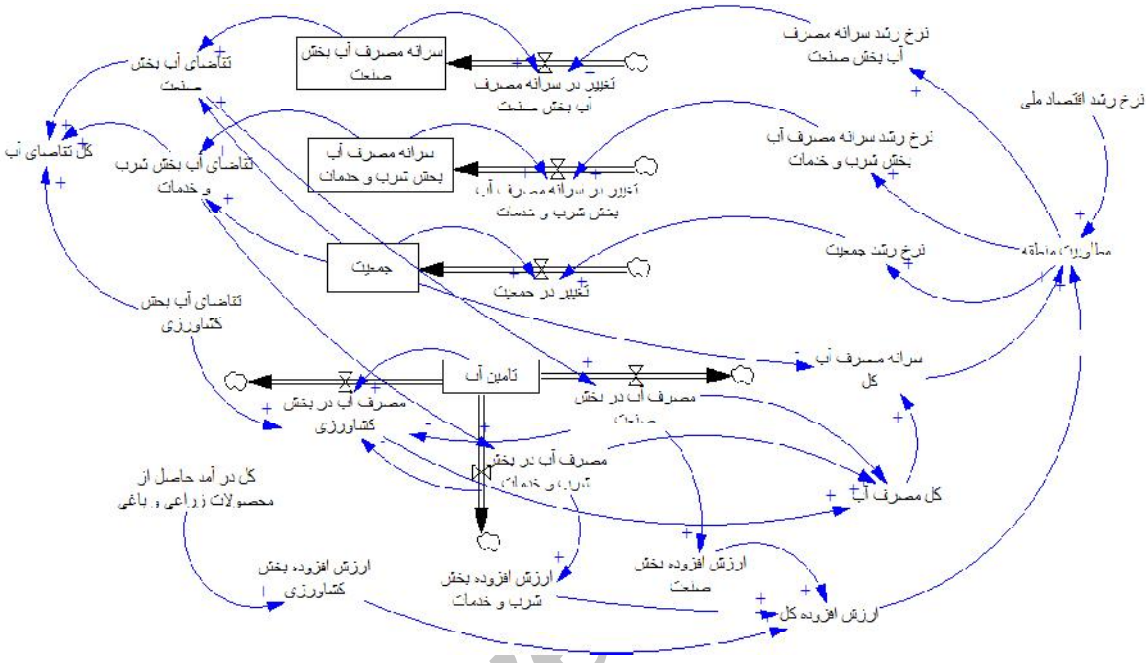
زیرسیستم اقتصادی- اجتماعی

جمعیت، مطلوبیت حوضه و ارزش افزوده در زیربخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات متغیرهای اصلی زیرسیستم اقتصادی- اجتماعی را تشکیل می‌دهد. تقاضای آب در بخش‌های صنعت و شرب تحت تأثیر وضعیت اقتصادی- اجتماعی حوضه است که این وضعیت به‌نوبهٔ خود به رفاه ساکنان و مهاجرت افراد از مناطق مجاور به این منطقه وابسته است. در این مطالعه، مطلوبیت حوضه تحت تأثیر عواملی همچون نرخ رشد اقتصاد ملی، ارزش افزودهٔ ناشی از مصرف آب و سرانهٔ مصرف آب در نظر گرفته شده است. مطلوبیت حوضه منجر به افزایش مهاجرت و جذب جمعیت در منطقه شده است که خود عاملی برای افزایش سرانهٔ مصرف آب در بخش‌های صنعت و شرب می‌شود. افزایش سرانهٔ مصرف آب نیز سبب افزایش نرخ رشد سرانهٔ مصرف آب در بخش‌های مختلف شده است و به‌دنبال آن نیاز آبی کل حوضه افزایش می‌یابد که با نیاز آبی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب تعیین می‌شود. از آنجا که بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب متفاوت است، در این مدل ارزش افزوده مجموع بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در بخش‌های مختلف تعریف شده است. نرخ رشد اقتصاد ملی به‌صورت عاملی برون‌زا بر مطلوبیت حوضه تأثیرگذار است. رشد اقتصادی حوضه نیز با ارزیابی ارزش افزودهٔ ناشی از مصرف آب در همان سال تعریف شده است. سرانهٔ مصرف آب در حوضه نیز رابطهٔ مستقیمی با کل آب مصرف شده دارد. مادامی که عرضهٔ آب برابر با تقاضا باشد، به‌عبارت دیگر هیچ محدودیتی وجود نداشته باشد، حوضه با کمبود آب مواجه نخواهد بود و منجر به افزایش رفاه ساکنان حوضه می‌شود. شکل ۴ نمودارهای ذخیره و جریان زیرسیستم اقتصادی- اجتماعی توسعه داده شده در این مطالعه را نشان می‌دهد. در این زیرسیستم، مقدار اولیه برای متغیر جمعیت و سرانهٔ

Archive of SID

www.SID.ir

تقاضای آب بخش شرب و صنعت با استفاده از داده‌های سازمان آمار و شرکت آب منطقه‌ای استان تهران به‌عنوان ورودی به مدل داده شد. نرخ رشد جمعیت، نرخ رشد سرانهٔ آب شرب و نرخ رشد سرانهٔ آب صنعت به‌صورت تابعی از مطلوبیت منطقه در نظر گرفته شده است.



شکل ۴. نمودار ذخیره و جریان زیرسیستم اقتصادی- اجتماعی

زیرسیستم کشاورزی

حوضهٔ مطالعاتی هشتگرد دارای الگوی کشت متنوعی از انواع مختلف محصولات آبی است. محصولات غالب کشاورزی منطقه عبارت است از گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه و باغات (سیب، انگور، گردو و هلو) که بر همین اساس زیرسیستم کشاورزی تعریف شده است. نیاز آبی محصولات به‌عنوان ورودی به مدل داده می‌شود. نیاز آبی ناخالص هر گیاه با احتساب راندمان آبیاری به‌دست می‌آید و از مجموع نیاز آبی ناخالص محاسبه‌شده برای تمام محصولات، نیاز آبی کشاورزی تعیین می‌شود. همچنین، حداکثر عملکرد مورد انتظار هر محصول نیز به‌عنوان ورودی به مدل داده می‌شود و عملکرد واقعی هر محصول با استفاده از حداکثر عملکرد همان محصول، میزان آب تخصیصی به محصول و میزان نیاز ناخالص آبیاری محصول محاسبه می‌شود. سپس، با استفاده از تابع قیمت که برای هر محصول به‌صورت جداگانه تعریف می‌شود درآمد حاصل از هر محصول به‌دست می‌آید و از مجموع درآمد تمام محصولات، درآمد حاصل از بخش کشاورزی دشت هشتگرد محاسبه می‌شود که پس از اتصال سه زیرسیستم هیدرولوژیکی، اقتصادی- اجتماعی و کشاورزی، درآمد حاصل از بخش کشاورزی بر ارزش افزودهٔ کشاورزی تأثیر می‌گذارد. به‌همین ترتیب، بر ارزش افزودهٔ کل و مطلوبیت منطقهٔ مورد مطالعه اثرگذار است. نمودار ذخیره و جریان زیرسیستم کشاورزی برای دو محصول گندم و ذرت در شکل ۵ نشان داده شده است.

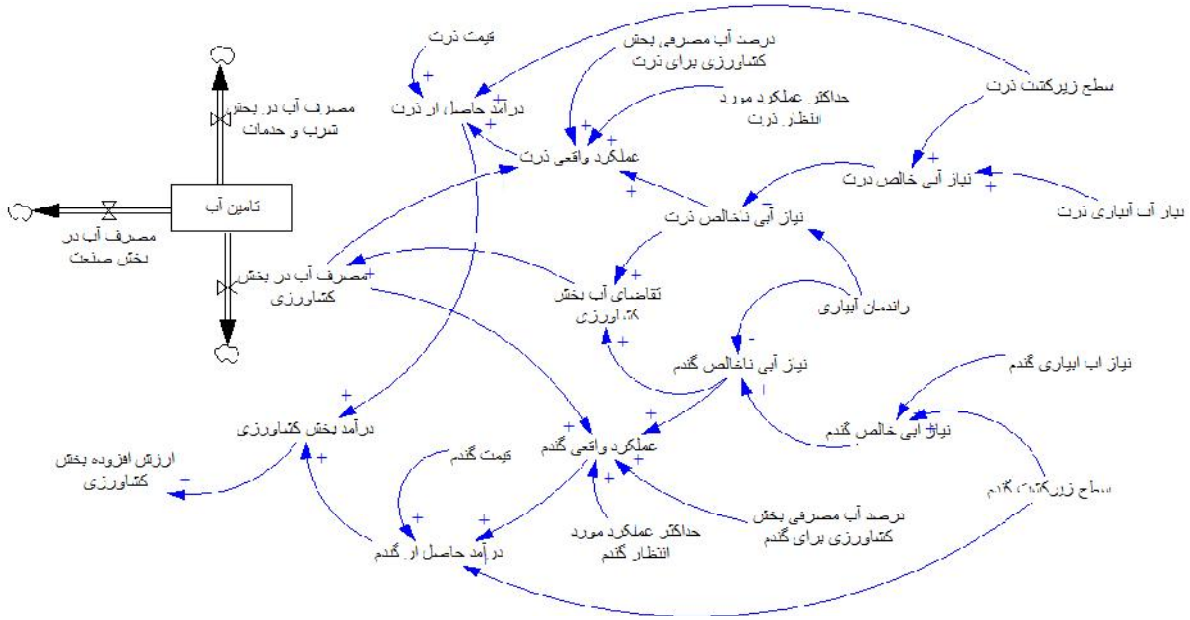
مقادیر سطح زیر کشت و قیمت محصولات کشاورزی

Archive
www.SID.ir

دشت هشتگرد از سازمان جهاد کشاورزی دریافت شد. نیاز آبی هر گیاه نیز از مدل بیلان آب به‌دست آمد. عملکرد واقعی هر محصول از رابطهٔ ۱ به‌دست می‌آید (۸).

$$\left(1-\frac{Y_a}{Y_m}\right)=K_y\left(1-\frac{ET_{C\,adj}}{ET_{C\,max}}\right) \qquad (1)$$

در این رابطه، $ET_{C\,adj}$ تبخیر و تعرق واقعی محصول (mm/day)، $ET_{C\,max}$ حداکثر تبخیر و تعرق محصول، K_y ضریب حساسیت محصول (نسبت کاهش محصول در برابر کاهش مصرف آب)، Y_a عملکرد واقعی محصول و Y_m حداکثر عملکرد محصول (Kg/ha) است.



شکل ۵. نمودار ذخیره و جریان زیرسیستم کشاورزی

نتایج و بحث

در این مطالعه، نخست مدل مفهومی تبیین‌شده برای منطقهٔ مطالعاتی هشتگرد شامل سه زیرسیستم هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی- اجتماعی توسعه داده شد. سپس، با الهام از نمودارهای علّی و معلولی زیرسیستم‌ها، نمودارهای ذخیره و جریان رسم می‌شود. همچنین، معادلات حاکم بر متغیرها وارد مدل شد و مدل صحت‌سنجی شد.

صحت‌سنجی مدل

مدل‌ها برای حل مسائل ساخته می‌شود و نمایشی از واقعیت یا برداشت ما از واقعیت است. قبل از استفاده از مدل باید نسبت به عملکرد صحیح مدل اطمینان حاصل کرد. برای این منظور آزمایش‌های مختلفی وجود دارد. از متداول‌ترین آزمون‌ها، مقایسهٔ نتایج خروجی مدل با رفتار مشاهده‌شدهٔ مسئله (آزمون تکرار رفتار) و آزمون شرایط حدی است. توجه به این نکته ضروری است که درجهٔ اطمینان از صحت مدل وابسته به دید مدل‌ساز بر اساس مدل دینامیکی طراحی شده است و اهداف مورد نظر مدل‌ساز از مدل مربوط خواهد بود (۱۵).

۱. آزمون تکرار رفتار

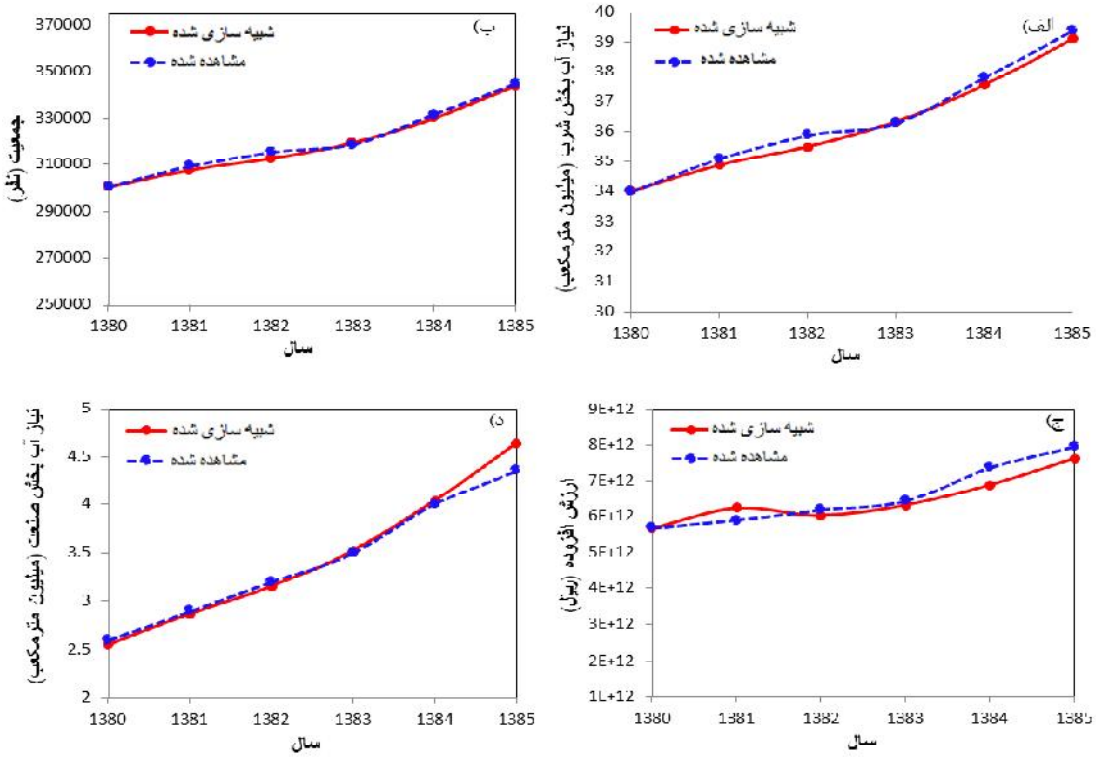
آزمون تکرار رفتار به بررسی خروجی‌های مدل از طریق مقایسهٔ داده‌های تولیدی از مدل با داده‌های تاریخی توجه

Archive
www.SID.ir

دارد. در این آزمون روند داده‌های تولیدشده با مدل با داده‌های تاریخی مطابقت داده می‌شود. به‌دلیل اینکه هر یک از ابزارهای آماری در جهت مقایسهٔ داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی دارای محاسن و معایبی در بررسی‌های آماری است، در این آزمون نخست داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی ترسیم شده است. سپس، با استفاده از ابزارهای آماری مانند ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطای نسبی بررسی شده است. ضریب تبیین مقداری بدون بعد است و در بهترین حالت این مقدار برابر با ۱ خواهد بود. همچنین، ضریب جذر میانگین مربعات خطای نسبی نشان‌دهندهٔ میزان خطای مدل و بدون بعد است و مطلوب‌ترین مقدار برای آن صفر خواهد بود.

۱.۱. صحت‌سنجی مدل سیستم دینامیکی با آزمون‌های تکرار رفتار

داده‌های مشاهده شده در بازهٔ زمانی پنج ساله (۱۳۸۰–۱۳۸۵) برای واسنجی پارامترهای مدل استفاده شد. شکل ۶ رفتار مدل شبیه‌سازی‌شده در مقابل رفتار مشاهداتی را برای متغیر جمعیت، نیاز آب بخش شرب، نیاز آب بخش صنعت و ارزش افزوده را نشان می‌دهد. در نگاهی کلی، همبستگی میان روندهای مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شدهٔ این متغیرها در مدلی یکپارچه و پیچیده قابل‌قبول است. این همبستگی نشان می‌دهد که مدل به‌منظور بازسازی رفتار پارامترهای مختلف در درون سیستم به‌خوبی واسنجی شده است.



شکل ۶. مقایسهٔ خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی طی آزمون تکرار رفتار. الف) متغیر نیاز آب بخش شرب، ب) متغیر جمعیت، ج) متغیر ارزش افزوده و د) متغیر نیاز آب بخش صنعت

1. coefficient of determination(R2)
2. Relative Root Mean Square Error (RMSEr)

www.SID.ir

نتایج آزمون تکرار رفتار برای متغیرهای منتخب در جدول ۲ آمده است. بر اساس جدول ۲ ملاحظه می‌شود که رویکرد سیستم دینامیکی در شبیه‌سازی متغیرهای مختلف دقت خوبی دارد و بر اساس مقادیر حاصل از ضریب تبیین می‌توان نتیجه گرفت که روند شبیه‌سازی مدل برای متغیرهای مختلف با روند مشاهداتی همبستگی بالایی دارد.

جدول ۲. نتایج آزمون‌های آماری متغیرهای منتخب مدل

مشخصهٔ آماری	جمعیت	نیاز آب بخش شرب	نیاز آب بخش صنعت	ارزش افزوده
ضریب تبیین (R^2)	۰/۹۹۳	۰/۹۹۳	۰/۹۵۵	۰/۸۵۶
جذر میانگین مربعات خطای نسبی (RMSEr) بر حسب درصد	۰/۵۶۲	۰/۶۸۶	۵/۹۷۷	۵/۸۱۲

۲. آزمون شرایط حدی

توانایی مدل در کارا بودن تحت شرایط حدی، به درجهٔ اطمینان‌پذیری مدل در تصمیم‌گیری و اتخاذ گزینهٔ مناسب می‌افزاید. هدف اصلی از انجام این آزمون کنترل مقادیر خروجی از مدل تحت شرایط حدی است، به‌نحوی که با لحاظ‌کردن مقادیر خیلی کوچک (صفر) و خیلی بزرگ برای متغیرهای حالت یا جریان، روند تغییر رفتار مدل با روند معمول و مورد انتظار مقایسه می‌شود. به‌طور کلی، آزمون‌های تحت شرایط حدی همراه با سایر آزمون‌های رفتار مدل، ابزار کارآمدی برای شناخت نقاط ضعف مدل محسوب می‌شود.

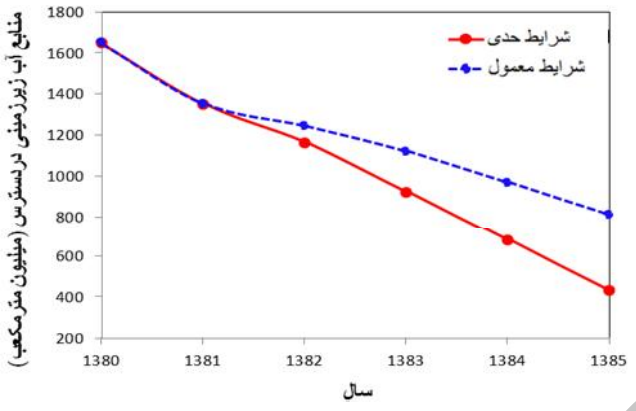
۱.۲. صحت‌سنجی مدل سیستم دینامیکی با آزمون شرایط حدی

هدف اصلی از انجام این آزمون کنترل مقادیر خروجی از مدل تحت شرایط حدی است. در این مطالعه مدل تحت شرایط حدی عدم برداشت از منابع آب سطحی، عدم برداشت از منابع آب زیرزمینی و رکود اقتصادی بررسی شده است.

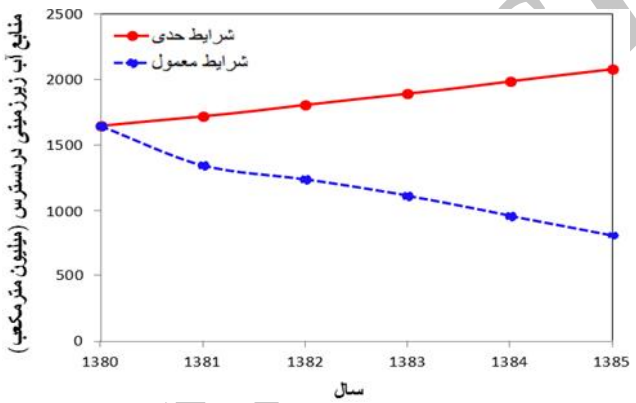
حجم منابع آب زیرزمینی موجود در شرایط عدم برداشت از منابع آب سطحی. با فرض صفر شدن میزان برداشت از آب‌های سطحی، انتظار می‌رود حجم منابع آب زیرزمینی موجود گرادیان نزولی بیشتری به خود بگیرد و از حجم ذخایر زیرزمینی به‌سرعت کاسته شود. بر اساس شکل ۷ ملاحظه می‌شود که عدم برداشت از منابع آب سطحی به کاهش شدید حجم منابع آب زیرزمینی در حوضهٔ مورد مطالعه می‌انجامد. بنابراین، مدل همان روند مورد انتظار را در این شرایط حدی شبیه‌سازی کرد و این بیانگر توانایی مدل در شبیه‌سازی سیستم منابع آب در چنین شرایط حدی‌ای است.

حجم منابع آب زیرزمینی موجود در شرایط عدم برداشت از منابع آب زیرزمینی. با فرض صفر شدن میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی، انتظار می‌رود حجم منابع آب زیرزمینی موجود گرادیان صعودی به خود بگیرد و حجم ذخایر زیزمینی به‌سرعت افزوده شود. شکل ۸ نشان‌دهندهٔ این مطلب است که عدم برداشت از منابع آب زیرزمینی منجر به افزایش حجم منابع آب زیرزمینی شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۷. روند تغییرات حجم منابع آب زیرزمینی در شرایط عدم برداشت از منابع آب سطحی

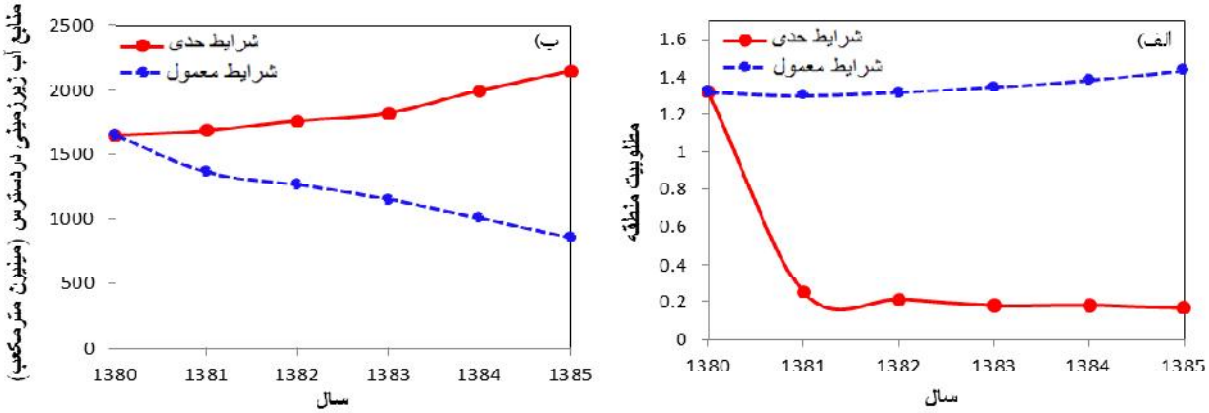


شکل ۸. روند تغییرات حجم منابع آب زیرزمینی در شرایط عدم برداشت از منابع آب زیرزمینی

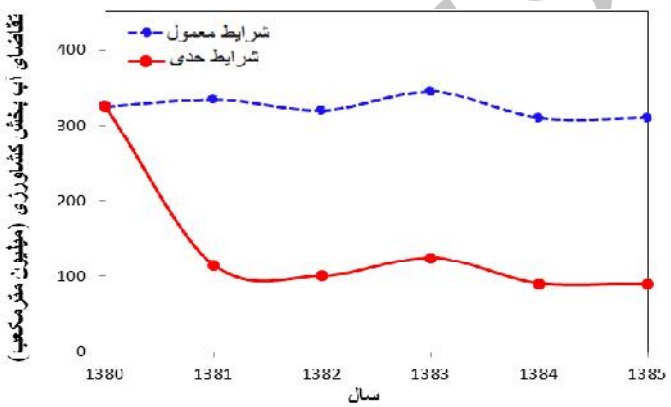
حجم منابع آب زیرزمینی و مطلوبیت منطقه در صورت رکود اقتصادی. با فرض رکود اقتصادی در زیربخش‌های کشاورزی (عدم کشت محصولات)، صنعت و خدمات (از رده خارج شدن صنایع و کارخانه‌ها)، انتظار می‌رود که با عدم برنامه‌ریزی مناسب در زیربخش‌های اقتصادی، ارزش افزودهٔ تولیدی روندی نزولی را طی کند. در پی کاهش ارزش افزودهٔ زیربخش‌های اقتصادی، موقعیت‌های شغلی و رضایت‌مندی ساکنان حوضه کاهش یافت که این امر موجب کاهش شاخص رفاه ساکنان می‌شود. کاهش شاخص رفاه ساکنان، منجر به کاهش جمعیت و مهاجرت می‌شود، در نتیجه از میزان تقاضای آب در همهٔ زیر بخش‌ها کاسته می‌شود. از طرفی، با توجه به میزان کاهش میزان مصرف، حوضه باید شاهد افزایش حجم منابع آب زیرزمینی باشد. شکل ۹ بیانگر رفتار متغیرهای مزبور در این آزمون است.

میزان متوسط تقاضای بخش کشاورزی در صورت رکود بخش اقتصادی کشاورزی. در این آزمون با فرض ۵۰ درصد رکود اقتصادی کشاورزی در منطقه، به بررسی رفتار تقاضای آب در بخش کشاورزی پرداخته شده است. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود با رکود بخش کشاورزی، متوسط تقاضای آب روندی نزولی را طی می‌کند.

www.SID.ir



شکل ۹. روند تغییرات حجم منابع آب زیرزمینی و پارامتر رفاه ساکنان حوضه در شرایط رکود اقتصادی.
الف) متغیر رفاه ساکنان حوضه، ب) متغیر حجم منابع زیرزمینی در دسترس



شکل ۱۰. روند تغییرات تقاضای آب در بخش کشاورزی در شرایط رکود بخش اقتصادی

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به‌منظور بررسی آثار متقابل سیستم‌های منابع آب، کشاورزی و اقتصادی- اجتماعی دشت هشتگرد، مدلی جامع بر مبنای رویکرد دینامیکی سیستم‌ها توسعه داده شد. در این رویکرد، روابط و بازخورد بین متغیرهای موجود در زیرسیستم‌ها با نمودارهای علت و معلولی و نمودارهای ذخیره و جریان بیان شد. این مدل با استفاده از دو آزمون تکرار رفتار و شرایط حدی صحت‌سنجی شد. نتایج حاصل از آزمون تکرار رفتار نشان داد که مدل برای بازسازی رفتار پارامترهای مختلف در درون سیستم به‌خوبی واسنجی شده است. همچنین، مقادیر بالای ضریب تبیین نشان داد که برای متغیرهای مختلف روند شبیه‌سازی‌شده با مدل با روند مشاهداتی هم‌بستگی بالایی دارد. نتایج حاصل از آزمون شرایط حدی نیز نشان‌دهندهٔ توانایی مدل در شبیه‌سازی متغیرهای مختلف در شرایط حدی مانند خشکسالی است. بنابراین، با توجه به طبیعت بسیار پیچیدهٔ سیستم‌های منابع آب، می‌توان از این مدل جامع، سیستمی و آینده‌نگر در مدیریت سیستم‌های منابع آب استفاده کرد تا بتوان با در نظر گرفتن آثار متقابل زیرسیستم‌های مختلف بر یکدیگر، به بررسی و ارائهٔ

www.SID.ir

سیاست‌های مؤثر و کارآمد برای مدیریت بهتر منابع آب پرداخت. پیشنهاد می‌شود این مدل توسعه‌یافته ابزاری پشتیبان تصمیم در ارزیابی آثار تصمیم‌ها و اقدام‌های مختلف روی سیستم‌های منابع آب، کشاورزی و اقتصادی- اجتماعی به‌کار رود. همچنین، ارائهٔ راهکارهای سازگاری برای بهبود وضعیت سیستم‌های منابع آب، بدون درنظرگرفتن اندرکنش‌های بین بخشی با سیستم دینامیکی آثار زیانباری بر بخش‌های دیگر و تصمیم‌های اشتباه و غیربهینه را به‌دنبال خواهد داشت. بنابراین، ارائهٔ راهکار سازگاری با مدل‌سازی یکپارچهٔ سیستم‌های منابع آب بسیار موفق‌تر از مدل‌سازی تک‌بعدی منابع آب است.

بدین منظور، در تحقیق حاضر مدل دینامیکی سیستم‌ها توسعه داده شد تا بتوان تأثیر پدیده‌های مختلف همچون تغییراقلیم را در تعامل با سایر محرک‌های هیدرولوژی، اقتصادی- اجتماعی و کشاورزی بررسی کرد و در صورت لزوم راهکارهای سازگاری مدیران را با استفاده از این مدل ارزیابی کرد و بهترین راهکار انتخاب و اجرا شود. اگرچه این مدل در محدودهٔ مطالعاتی هشتگرد به‌کار رفته است، عناصر و ساختار مدل توسعه یافته، به سیستم منابع آب موجود در بسیاری از مناطق شبیه است. با تغییر مقادیر عددی پارامترهای خاص، مدل را می‌توان در تجزیه‌وتحلیل در سایر مناطق نیز به‌کار برد.

منابع

۱. حسینی ا. و باقری ع. (۱۳۹۲) مدل‌سازی پویایی سیستم منابع آب دشت مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعهٔ پایدار. آب و فاضلاب، ۴: ۲۸-۳۹.

۲. رحیمی‌خوب ح. ستوده‌نیا ع. مساح بوانی ع. و گوهری ع. (۱۳۹۴) ارزیابی یکپارچهٔ آثار تغییر اقلیم بر سامانه‌های منابع آب و کشاورزی دشت هشتگرد با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۶(۲): ۱۸۳-۱۹۳.

۳. شفیعی‌جود م.، ابریشمچی ا. و صلوی‌تبار ع. (۱۳۹۲) ارزیابی طرح‌های توسعهٔ منابع آب در سیستم چند مخزنهٔ زیرحوضهٔ دره‌رود با استفاده از شاخص‌های عملکردی. آب و فاضلاب، ۳: ۲۲-۳۲.

4. Ahmad S. and Prashar D. (2010) Evaluating municipal water conservation policies using a dynamic simulation Model. Water Resour Management, 24(13): 3371-3395.

5. Chen Z. and Wei S. (2014) Application of system dynamics to water security research. Water resources management, 28(2): 287-300.

6. Dace E. Muizniece I. Blumberga A. and Kaczala F. (2015) Searching for solutions to mitigate greenhouse gas emissions by agricultural policy decisions Application of system dynamics modeling for the case of Latvia. Science of the Total Environment, 527-528: 80-90.

7. Davies E.G.R. and Simonovic S.P. (2011) Global water resources modeling with an integrated model of the social–economic–nvironmental system. Advances in Water Resources, 34(6): 684-700.

8. Doorenbos J. and kassam A.H. (1979) Yield responds to water. FAO Irrigation and Drainage. Food and Agriculture Organization, Rome, 33: 257.

9. Forrester J.W. (1964) Industrial dynamics. The Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Massachusetts, USA.

10. Gohari A. Madani K. Mirchi A. and Massah Bavan A. (2014) A system dynamics approach to evaluate climate change adaptation strategies for Iran's Zayandeh-Rud water system. World Environmental and Water Resources Congress, Portland, Oregon, 1598-1607.

11. Hjorth P. and Bagheri A. (2006) Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach. Futures, 38(1): 74-92.

Archive of SID
www.SID.ir

12. Khan S. Yufeng L. and Cui Y. (2009) Application of system dynamics approach for time varying water balance in aeroic paddy fields. Paddy Water Environment, 7(1): 1-9.

13. Madani K. and Marino M.A. (2009) System dynamics analysis for managing Iran's Zayandeh-Rud river basin. Water Resources Management, 23(11): 2163-2187.

14. Statistical Center of Iran (2011) Population and housing census report, from http: //www.amar.org.ir.

15. Sterman J.D. (2000) Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. McGraw-Hill, Boston, New York, 982 p.

16. United Nations-Water (2005) A gender perspective on water resources and sanitation. Interagency task force on gender and water. In: The 12th Session of the Commission on Sustainable Development.

17. United Nations-Water (2008) Status report on integrated water resources management and water efficiency plans. In: The 16th Session of the Commission on Sustainable Development.

18. Vlachos D. Georgiadis P. and Iakovou E. (2007) A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains. Computers and Operations Research, 34(2): 367-394.

19. Yekom Consulting Engineering Co (2011) Determination of resources and consumption of water in the Namak Lake Basin. Iran, 12 Vol. [in Persian]

20. Zarghami M. and Akbariyeh S. (2012) System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran. Resources, Conservation and Recycling, 60: 99-106.

Archive of SID

www.SID.ir